УДК 681.51

О.И. АТРОЩЕНКО

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается применение метода АКАР (Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов по заданным инвариантным многообразиям) синергетической теории управления для синтеза законов управления нелинейными распределенными объектами управления. Объектом управления выбран водоносный горизонт центрального участка Кисловодского месторождения минеральных вод.
Ключевые слова: *коэффициент фильтрации, граничные условия, математическая модель, водоносный горизонт, фазовое пространство, инвариантное многообразие, переходной процесс, управляющее воздействие, фазовый процесс.*

Введение. Водоносный горизонт – это объект с распределенными параметрами, поведение такого объекта существенно зависит не только от времени, но и от пространственных координат [2, 4]. На центральном участке Кисловодского месторождения расположены пять эксплуатационных и пять контрольных скважин; эксплуатируется Валанжинский водоносный горизонт [2].

Постановка задачи. Имеется математическая модель системы управления, необходимо определить законы управления методом АКАР, обеспечивающим минимальное истощение эксплуатационных запасов подземных вод, т.е. снижение уровня водоносного горизонта [2].

Методы испытаний. Нелинейная математическая модель системы управления в переменных состояния имеет вид [2]:

$$\dot{x}_1 = -k_1d_1x_1 + k_2d_1x_2 - k_1d_2x_1 + k_6d_2x_6 - k_1d_3x_1 + k_{11}d_3x_{11} - (F_0 - \sin(x_1))\frac{x_2 - x_1}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_2 = k_1d_1x_1 - 2k_2d_1x_2 + k_3d_1x_3 - k_2d_2x_2 + k_7d_2x_7 - k_2d_3x_2 + k_{12}d_3x_{12} - (F_0 - \sin(x_2))\frac{x_3 - x_2}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_3 = k_2d_1x_2 - 2k_3d_1x_3 + k_4d_1x_4 - k_3d_2x_3 + k_8d_2x_8 - k_3d_3x_3 + k_{13}d_3x_{13} - (F_0 - \sin(x_3))\frac{x_4 - x_3}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_4 = k_3d_1x_3 - 2k_4d_1x_4 + k_5d_1x_5 - k_4d_2x_4 + k_9d_2x_9 - k_4d_3x_4 + k_{14}d_3x_{14} - (F_0 - \sin(x_4))\frac{x_5 - x_4}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_5 = k_4d_1x_4 - k_5d_1x_5 - k_5d_2x_5 + k_{10}d_2x_{10} - k_5d_3x_5 + k_{15}d_3x_{15};$$

$$\dot{x}_6 = -k_6d_1x_6 + k_7d_1x_7 + k_1d_2x_1 - 2k_6d_2x_6 - k_6d_3x_6 + k_{16}d_3x_{16} - (F_0 - \sin(x_6))\frac{x_7 - x_6}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_7 = k_6d_1x_6 - 2k_7d_1x_7 + k_8d_1x_8 + k_2d_2x_2 - 2k_7d_2x_7 - k_7d_3x_7 + k_{17}d_3x_{17} - (F_0 - \sin(x_7))\frac{x_8 - x_7}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_8 = k_7 d_1 x_7 - 2k_8 d_1 x_8 + k_9 d_1 x_9 + k_3 d_2 x_3 - 2k_8 d_2 x_8 - k_8 d_3 x_8 + k_{18} d_3 x_{18} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_8)) \frac{x_9 - x_8}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_9 = k_8 d_1 x_8 - 2k_9 d_1 x_9 + k_{10} d_1 x_{10} + k_4 d_2 x_4 - 2k_9 d_2 x_9 - k_9 d_3 x_9 + k_{19} d_3 x_{19} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_9)) \frac{x_{10} - x_9}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{10} = k_9 d_1 x_9 - k_{10} d_1 x_{10} + k_5 d_2 x_5 - 2k_{10} d_2 x_{10} - k_{10} d_3 x_{10} + k_{20} d_3 x_{20}; \qquad (1)$$
$$\dot{x}_{11} = -k_{11} d_1 x_{11} + k_{12} d_1 x_{12} - k_{11} d_2 x_{11} + k_{16} d_2 x_{16} + k_1 d_3 x_1 - k_{11} d_3 x_{11} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{11})) \frac{x_{12} - x_{11}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{12} = k_{11} d_1 x_{11} - 2k_{12} d_1 x_{12} + k_{13} d_1 x_{13} - k_{12} d_2 x_{12} + k_{17} d_2 x_{17} + k_2 d_3 x_2 - k_{12} d_3 x_{12} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{12})) \frac{x_{13} - x_{12}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{13} = k_{12} d_1 x_{12} - 2k_{13} d_1 x_{13} + k_{14} d_1 x_{14} - k_{13} d_2 x_{13} + k_{18} d_2 x_{18} + k_3 d_3 x_3 - k_{13} d_3 x_{13} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{13})) \frac{x_{14} - x_{13}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{14} = k_{13} d_1 x_{13} - 2k_{14} d_1 x_{14} + k_{15} d_1 x_{15} - k_{14} d_2 x_{14} + k_{19} d_2 x_{19} + k_4 d_3 x_4 - k_{14} d_3 x_{14} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{14})) \frac{x_{15} - x_{14}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{15} = k_{14} d_1 x_{14} - k_{15} d_1 x_{15} - k_{15} d_2 x_{15} + k_{20} d_2 x_{20} + k_5 d_3 x_5 - k_{15} d_3 x_{15};$$
$$\dot{x}_{16} = -k_{16} d_1 x_{16} + k_{17} d_1 x_{17} + k_{11} d_2 x_{11} - 2k_{16} d_2 x_{16} + k_6 d_3 x_6 - k_{16} d_3 x_{16} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{16})) \frac{x_{17} - x_{16}}{\Delta x} - u_1;$$
$$\dot{x}_{17} = -k_{16} d_1 x_{16} - 2k_{17} d_1 x_{17} + k_{18} d_2 x_{18} + k_{12} d_2 x_{12} - 2k_{17} d_2 x_{17} + k_7 d_3 x_7 - k_{17} d_3 x_{17} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{17})) \frac{x_{18} - x_{17}}{\Delta x} - u_2;$$
$$\dot{x}_{18} = k_{17} d_1 x_{17} - 2k_{18} d_1 x_{18} + k_{19} d_1 x_{19} + k_{13} d_2 x_{13} - 2k_{18} d_2 x_{18} + k_8 d_3 x_8 - k_{18} d_3 x_{18} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{18})) \frac{x_{19} - x_{18}}{\Delta x} - u_3;$$
$$\dot{x}_{19} = k_{18} d_1 x_{18} - 2k_{19} d_1 x_{19} + k_{20} d_1 x_{20} + k_{14} d_2 x_{14} - 2k_{19} d_2 x_{19} + k_9 d_3 x_9 - k_{19} d_3 x_{19} - $$
$$- (F_0 - \sin(x_{19})) \frac{x_{20} - x_{19}}{\Delta x} - u_4;$$
$$\dot{x}_{20} = k_{19} d_1 x_{19} - k_{20} d_1 x_{20} + k_{15} d_2 x_{15} - 2k_{20} d_2 x_{20} + k_{10} d_3 x_{10} - k_{20} d_3 x_{20} - u_5.$$

Система (1) является многомерной, нелинейной, многосвязной пространственно-неинвариантной моделью, имеющей пять каналов управления. Коэффициенты фильтрации $k_1 - k_{20}$ зависят от пространственных координат, скорость движения водоносного горизонта $F = F_0 - \sin(x_i)$ является нелинейной величиной, $F_0 = 1.5$ м/сут.

В систему (1) входят следующие параметры и коэффициенты: $x_1 - x_{20}$ – переменные состояния, физический смысл которых – понижение уровня водоносного горизонта в точках дискретизации распределенного объекта управления. Состояния $x_1 - x_5$ определяют понижение уровня водоносного горизонта в контрольных скважинах, а состояния $x_{15} - x_{20}$ озна-

чают понижение уровня водосного горизонта в точках расположения эксплуатационных скважин; $u_1 - u_5$ – водозабор (дебит) из эксплуатационных скважин, физический смысл которого – управляющее воздействие на объект управления; η – коэффициент упругоемкости коллектора в 1/м. $d_1 = \dfrac{1}{\eta \Delta x^2}$, $d_2 = \dfrac{1}{\eta \Delta y^2}$, $d_3 = \dfrac{1}{\eta \Delta z^2}$; Δx, Δy, Δz – шаги дискретизации по осям x, y, z.

Согласно методу АКАР, необходимо синтезировать законы управления u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 как функцию координат состояния объекта $u(x)$, обеспечивающие минимальное понижение уровня в контрольных скважинах на один метр [2, 5]:

$$x_1 = x_1^0 = -1,\ x_2 = x_2^0 = -1,\ x_3 = x_3^0 = -1,\ x_4 = x_4^0 = -1,\ x_5 = x_5^0 = -1. \qquad (2)$$

В соответствии с числом независимых каналов управления может быть назначено пять инвариантов (стабилизация понижения уровня в точках расположения контрольных скважин x_1, x_2, x_3, x_4, x_5). Исходя из поставленной задачи (2), целесообразно выбрать параллельную совокупность внешних инвариантных многообразий:

$$\psi_m(x_1,...,x_{15}) = 0, \qquad m = 1,...,5;$$
$$\psi_1 = x_{16} + \varphi_1; \quad \psi_2 = x_{17} + \varphi_2; \quad \psi_3 = x_{18} + \varphi_3;$$
$$\psi_4 = x_{19} + \varphi_4; \quad \psi_5 = x_{20} + \varphi_5. \qquad (3)$$

Инвариантные многообразия (3) должны удовлетворять решению системы функциональных уравнений АКАР [1]:

$$T_1\dot\psi_1(t) + \psi_1 = 0; \qquad T_2\dot\psi_2(t) + \psi_2 = 0; \qquad T_3\dot\psi_3(t) + \psi_3 = 0;$$

$$T_4\dot\psi_4(t) + \psi_4 = 0; \qquad T_5\dot\psi_5(t) + \psi_5 = 0. \qquad (4)$$

При попадании изображающей точки системы на пересечение многообразий $\psi_1 = 0$, $\psi_2 = 0$, $\psi_3 = 0$, $\psi_4 = 0$, $\psi_5 = 0$, согласно принципу «расширения — сжатия фазового пространства», происходит декомпозиция исходной системы (1), и динамика системы описывается системой дифференциальных уравнений пониженного порядка [1, 5]:

$$\dot x_{1\psi} = -k_1d_1x_{1\psi} + k_2d_1x_{2\psi} - k_1d_2x_{1\psi} + k_6d_2x_{6\psi} - k_1d_3x_{1\psi} + k_{11}d_3x_{11\psi} -$$
$$-(F_0 - \sin(x_{1\psi}))\frac{x_{2\psi} - x_{1\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot x_{2\psi} = k_1d_1x_{1\psi} - 2k_2d_1x_{2\psi} + k_3d_1x_{3\psi} - k_2d_2x_{2\psi} + k_7d_2x_{7\psi} - k_2d_3x_{2\psi} + k_{12}d_3x_{12\psi} -$$
$$-(F_0 - \sin(x_{2\psi}))\frac{x_{3\psi} - x_{2\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot x_{3\psi} = k_2d_1x_{2\psi} - 2k_3d_1x_{3\psi} + k_4d_1x_{4\psi} - k_3d_2x_{3\psi} + k_8d_2x_{8\psi} - k_3d_3x_{3\psi} + k_{13}d_3x_{13\psi} -$$
$$-(F_0 - \sin(x_{3\psi}))\frac{x_{4\psi} - x_{3\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot x_{4\psi} = k_3d_1x_{3\psi} - 2k_4d_1x_{4\psi} + k_5d_1x_{5\psi} - k_4d_2x_{4\psi} + k_9d_2x_{9\psi} - k_4d_3x_{4\psi} + k_{14}d_3x_{14\psi} -$$
$$-(F_0 - \sin(x_{4\psi}))\frac{x_{5\psi} - x_{4\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot x_{5\psi} = k_4d_1x_{4\psi} - k_5d_1x_{5\psi} - k_5d_2x_{5\psi} + k_{10}d_2x_{10\psi} - k_5d_3x_{5\psi} + k_{15}d_3x_{15\psi};$$

$$\dot{x}_{6\psi} = -k_6 d_1 x_{6\psi} + k_7 d_1 x_{7\psi} + k_1 d_2 x_{1\psi} - 2k_6 d_2 x_{6\psi} - k_6 d_3 x_{6\psi} - k_{16} d_3 \varphi_1 - -(F_0 - \sin(x_{6\psi}))\frac{x_{7\psi} - x_{6\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{7\psi} = k_6 d_1 x_{6\psi} - 2k_7 d_1 x_{7\psi} + k_8 d_1 x_{8\psi} + k_2 d_2 x_{2\psi} - 2k_7 d_2 x_{7\psi} - k_7 d_3 x_{7\psi} - k_{17} d_3 \varphi_2 - -(F_0 - \sin(x_{7\psi}))\frac{x_{8\psi} - x_{7\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{8\psi} = k_7 d_1 x_{7\psi} - 2k_8 d_1 x_{8\psi} + k_9 d_1 x_{9\psi} + k_3 d_2 x_{3\psi} - 2k_8 d_2 x_{8\psi} - k_8 d_3 x_{8\psi} - k_{18} d_3 \varphi_3 - -(F_0 - \sin(x_{8\psi}))\frac{x_{9\psi} - x_{8\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{9\psi} = k_8 d_1 x_{8\psi} - 2k_9 d_1 x_{9\psi} + k_{10} d_1 x_{10\psi} + k_4 d_2 x_{4\psi} - 2k_9 d_2 x_{9\psi} - k_9 d_3 x_{9\psi} - k_{19} d_3 \varphi_4 - -(F_0 - \sin(x_{9\psi}))\frac{x_{10\psi} - x_{9\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{10\psi} = k_9 d_1 x_{9\psi} - k_{10} d_1 x_{10\psi} + k_5 d_2 x_{5\psi} - 2k_{10} d_2 x_{10\psi} - k_{10} d_3 x_{10\psi} - k_{20} d_3 \varphi_5; \quad (5)$$

$$\dot{x}_{11\psi} = -k_{11} d_1 x_{11\psi} + k_{12} d_1 x_{12\psi} - k_{11} d_2 x_{11\psi} - k_{16} d_2 \varphi_1 + k_1 d_3 x_{1\psi} - k_{11} d_3 x_{11\psi} - -(F_0 - \sin(x_{11\psi}))\frac{x_{12\psi} - x_{11\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{12\psi} = k_{11} d_1 x_{11\psi} - 2k_{12} d_1 x_{12\psi} + k_{13} d_1 x_{13\psi} - k_{12} d_2 x_{12\psi} - k_{17} d_2 \varphi_2 + k_2 d_3 x_{2\psi} - k_{12} d_3 x_{12\psi} - -(F_0 - \sin(x_{12\psi}))\frac{x_{13\psi} - x_{12\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{13\psi} = k_{12} d_1 x_{12\psi} - 2k_{13} d_1 x_{13\psi} + k_{14} d_1 x_{14\psi} - k_{13} d_2 x_{13\psi} - k_{18} d_2 \varphi_3 + k_3 d_3 x_{3\psi} - k_{13} d_3 x_{13\psi} - -(F_0 - \sin(x_{13\psi}))\frac{x_{14\psi} - x_{13\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{14\psi} = k_{13} d_1 x_{13\psi} - 2k_{14} d_1 x_{14\psi} + k_{15} d_1 x_{15\psi} - k_{14} d_2 x_{14\psi} - k_{19} d_2 \varphi_4 + k_4 d_3 x_{4\psi} - k_{14} d_3 x_{14\psi} - -(F_0 - \sin(x_{14\psi}))\frac{x_{15\psi} - x_{14\psi}}{\Delta x};$$

$$\dot{x}_{15\psi} = k_{14} d_1 x_{14\psi} - k_{15} d_1 x_{15\psi} - 2k_{15} d_2 x_{15\psi} - k_{20} d_2 \varphi_5 + k_5 d_3 x_{5\psi} - k_{15} d_3 x_{15\psi};$$

неизвестные функции φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 - «внутренние» управления.

На втором этапе синтеза для поиска внешних управлений вводится вторая группа «внутренних» инвариантных многообразий по числу каналов внутренних управлений:

$$\psi_m(x_1,...,x_5) = 0, \qquad m = 6,...,10;$$

$$\psi_6 = x_6 + \varphi_6; \quad \psi_7 = x_7 + \varphi_7; \quad \psi_8 = x_8 + \varphi_8;$$

$$\psi_9 = x_9 + \varphi_9; \qquad \psi_{10} = x_{10} + \varphi_{10}, \qquad (6)$$

где $\varphi_6 - \varphi_{10}$ – неизвестные «внутренние» управления, которые необходимо доопределить в процессе синтеза.

Инвариантные многообразия (6) должны удовлетворять решению системы функциональных уравнений АКАР:

$$T_6\dot{\psi}_6(t) + \psi_6 = 0; \qquad T_7\dot{\psi}_7(t) + \psi_7 = 0;$$

$$T_8\dot{\psi}_8(t) + \psi_8 = 0; \qquad T_9\dot{\psi}_9(t) + \psi_9 = 0; \qquad T_{10}\dot{\psi}_{10}(t) + \psi_{10} = 0. \quad (7)$$

На пересечении совокупности внутренних инвариантных многообразий $\psi_6 = 0$, $\psi_7 = 0$, $\psi_8 = 0$, $\psi_9 = 0$, $\psi_{10} = 0$ динамика системы определяется декомпозированной системой пониженного порядка:

$$\dot{x}_{1\psi} = -k_1 d_1 x_{1\psi} + k_2 d_1 x_{2\psi} - k_1 d_2 x_{1\psi} - k_6 d_2 \varphi_6 - k_1 d_3 x_{1\psi} + k_{11} d_3 x_{11\psi} - $$
$$ - (F_0 - \sin(x_{1\psi}))\frac{x_{2\psi} - x_{1\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{2\psi} = k_1 d_1 x_{1\psi} - 2k_2 d_1 x_{2\psi} + k_3 d_1 x_{3\psi} - k_2 d_2 x_{2\psi} - k_7 d_2 \varphi_7 - k_2 d_3 x_{2\psi} + k_{12} d_3 x_{12\psi} - $$
$$ - (F_0 - \sin(x_{2\psi}))\frac{x_{3\psi} - x_{2\psi}}{\Delta x}; \qquad (8)$$
$$\dot{x}_{3\psi} = k_2 d_1 x_{2\psi} - 2k_3 d_1 x_{3\psi} + k_4 d_1 x_{4\psi} - k_3 d_2 x_{3\psi} - k_8 d_2 \varphi_8 - k_3 d_3 x_{3\psi} + k_{13} d_3 x_{13\psi} - $$
$$ - (F_0 - \sin(x_{3\psi}))\frac{x_{4\psi} - x_{3\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{4\psi} = k_3 d_1 x_{3\psi} - 2k_4 d_1 x_{4\psi} + k_5 d_1 x_{5\psi} - k_4 d_2 x_{4\psi} - k_9 d_2 \varphi_9 - k_4 d_3 x_{4\psi} + k_{14} d_3 x_{14\psi} - $$
$$ - (F_0 - \sin(x_{4\psi}))\frac{x_{5\psi} - x_{4\psi}}{\Delta x};$$
$$\dot{x}_{5\psi} = k_4 d_1 x_{4\psi} - k_5 d_1 x_{5\psi} - k_5 d_2 x_{5\psi} - k_{10} d_2 \varphi_{10} - k_5 d_3 x_{5\psi} + k_{15} d_3 x_{15\psi}.$$

На третьем этапе декомпозиции для поиска «внутренних» управлений вводится вторая группа «внутренних» инвариантных многообразий $\psi_{11} = 0$, $\psi_{12} = 0$, $\psi_{13} = 0$, $\psi_{14} = 0$, $\psi_{15} = 0$ по числу каналов с внутренними управлениями [1]:

$$\psi_{11} = x_1 - x_1^0 = 0; \quad \psi_{12} = x_2 - x_2^0 = 0; \quad \psi_{13} = x_3 - x_3^0 = 0;$$
$$\psi_{14} = x_4 - x_4^0 = 0; \quad \psi_{15} = x_5 - x_5^0 = 0. \qquad (9)$$

Инвариантные многообразия (9) должны удовлетворять решению системы функциональных уравнений АКАР:

$$T_{11}\dot{\psi}_{11} + \psi_{11} = 0; \quad T_{12}\dot{\psi}_{12} + \psi_{12} = 0; \quad T_{13}\dot{\psi}_{13} + \psi_{13} = 0;$$
$$T_{14}\dot{\psi}_{14} + \psi_{14} = 0; \quad T_{15}\dot{\psi}_{15} + \psi_{15} = 0. \qquad (10)$$

В обратном порядке, совместно решая системы уравнений (8), (9), (10), определяем группу «внутренних» управлений φ_6, φ_7, φ_8, φ_9, φ_{10}. После этого из совместного решения систем уравнений (5), (6), (7) определяем группу «внутренних» управлений φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5, а из совместного решения систем уравнений (1), (3), (4) находим неизвестные внешние управления u_1, u_2, u_3, u_4, u_5.

Результаты моделирования. Численное моделирование проводилось при следующих параметрах настройки регулятора: $T_1 = 0.8$; $T_2 = 0.9$; $T_3 = 0.7$; $T_4 = 0.8$; $T_5 = 0.9$; $T_6 = 0.8$; $T_7 = 0.7$; $T_8 = 0.6$; $T_9 = 0.9$; $T_{10} = 0.8$; $T_{11} = 0.9$; $T_{12} = 0.8$; $T_{13} = 0.9$; $T_{14} = 0.8$; $T_{15} = 0.8$, а также следующих параметрах объекта управления: $\eta = 0.000004$ 1/м; $\Delta x = 250$; $\Delta y = 166$; $\Delta z = 40$; $k_1 = 0.05$; $k_2 = 0.06$; $k_3 = 0.06$; $k_4 = 0.07$; $k_5 = 0.07$; $k_6 = 0.08$; $k_7 = 0.02$; $k_8 = 0.05$; $k_9 = 0.01$; $k_{10} = 0.01$; $k_{11} = 0.01$; $k_{12} = 0.12$; $k_{13} = 0.02$; $k_{14} = 0.09$; $k_{15} = 0.07$; $k_{16} = 0.07$; $k_{17} = 0.02$; $k_{18} = 0.01$; $k_{19} = 0.11$; $k_{20} = 0.03$ м/сут; $F_0 = 2.5$. Начальные условия по переменным состояния были выбраны нулевыми: отсутствие внешнего воздействия.

На рис. 1 представлены результаты моделирования: переходные процессы переменных состояний x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 по каждой контрольной скважине, стабилизирующихся к установившемуся значению (2). На рис.2. изображены изменения (стабилизация) во времени управляющих воздей-

ствий u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 по каждой эксплуатационной скважине. На рис.3 дана проекция фазового пространства на координаты $x_1 - x_2 - x_3$, фазовый портрет, пересечение внешних инвариантных многообразий $\psi_1 = 0$, $\psi_2 = 0$ в трехмерном фазовом пространстве, в котором фазовые траектории, стартуя из произвольных начальных условий, под действием управлений попадают на пересечение многообразий, а затем движутся к установившемуся состоянию. На рис. 4 изображены переходные процессы дебитов эксплуатационных скважин в м^3/сут.

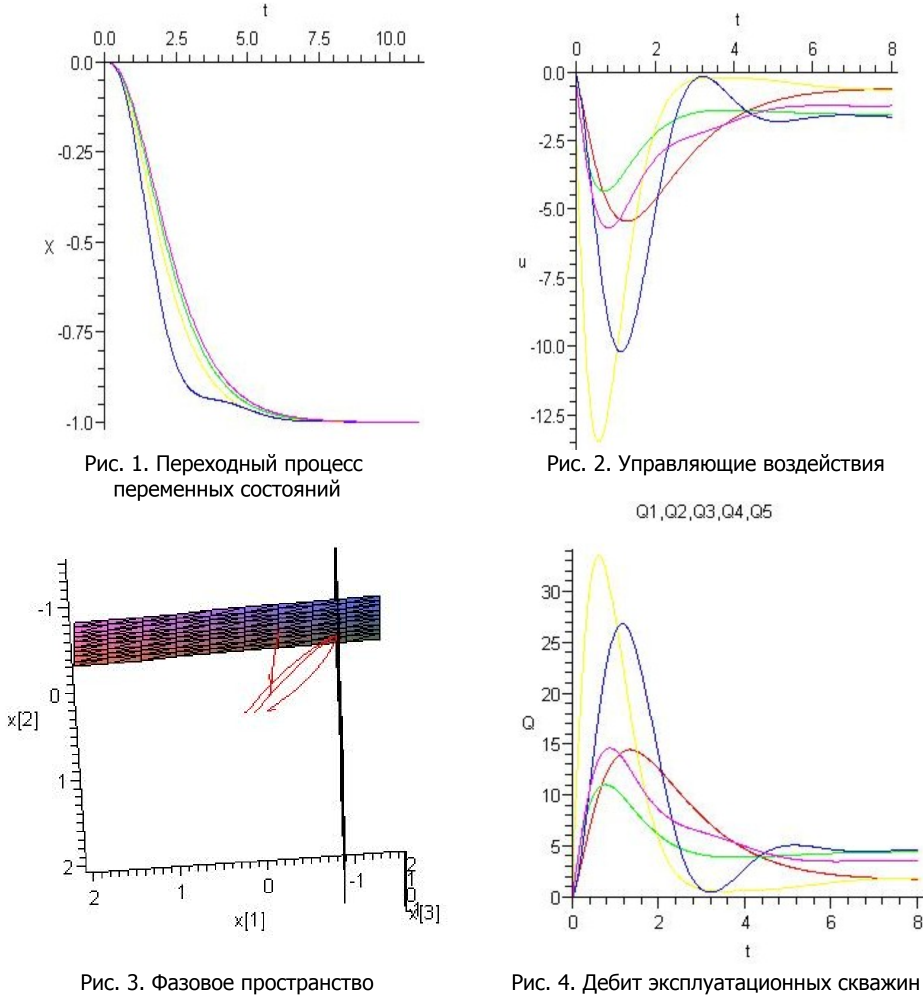


Рис. 1. Переходный процесс переменных состояний

Рис. 2. Управляющие воздействия

Рис. 3. Фазовое пространство

Рис. 4. Дебит эксплуатационных скважин

Выводы. Синтезированные нелинейные законы управления u_1, u_2, u_3,u_4, u_5 методом АКАР обеспечивают асимптотическую устойчивость движения в целом замкнутой системы относительного заданного состояния, определяемого требованиями процесса управления. Для того чтобы забрать из эксплуатационных скважин 1, 2, 3, 4, 5 м^3/сут необходимо понизить уровень водоносного горизонта в эксплуатационных скважинах на 0.1-1,0 м. На рис.1 видно, что стабилизация переходного процесса (понижение уровня в

контрольных скважинах) произойдет примерно через 9 суток после начала действия возмущающего воздействия.

Библиографический список

1. *Атрощенко О.И.* Основные положения синергетического подхода. Постановка нелинейной проблемы аналитического конструирования агрегированных регуляторов / О.И. Атрощенко // Сб. науч. тр. Сев.-Кав. гос. техн.ун-та. – 2008. – № 4. – С.16-19.

2. *Атрощенко О.И.* Синергетический синтез системы управления дебитом водозаборных скважин методом АКАР / О.И. Атрощенко // Вестник Сев.-Кав. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 2(15). – С.53-57.

3. *Малков А.В.* Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидролитосферными процессами / А.В. Малков, И.М. Першин. – М.: Научный мир, 2007.

4. *Першин И.М.* Анализ и синтез систем с распределенными параметрами / И.М. Першин. – Пятигорск: Рекламно-информационное агентство на КМВ, 2007.

5. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления; под ред. А.А. Колесникова. – Ч.II. –Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.

Материал поступил в редакцию 4.07.08.

O.I.ATROSHCHENKO

SINERGETICHESKY SYNTHESIS OF MANAGEMENTS FOR THE NONLINEAR SPATIALLY-NOT INVARIANT OBJECT OF MANAGEMENT

Application of method АКАР («Analytical designing of the aggregated regulators on the set invariant varieties») sinergetics theories of management for synthesis of laws of management by spatially-nenvariantnym nonlinear distributed object of management is considered. The object of management chooses water horizont the Central site of the Kislovodsk deposit of mineral waters.

АТРОЩЕНКО Олег Игоревич (р.1983), аспирант кафедры «Управление и информатика в технических системах» Пятигорского государственного технологического университета. В 2005 г. окончил Кисловодский гуманитарно-технический институт
Область научных интересов: управление, математическое моделирование, автоматика, системы управления с распределенными параметрами.
Автор шести научных статей.